

De l'ingénierie cognitive à la théorie des systèmes complexes

Un parcours d'analyse et de modélisation de l'activité centré sur la conception

Bernard Pavard & Pascal Salembier

GRIC-IRIT (UMR 5505 CNRS)

pavard@cict.fr, salembier@irit.fr

1. Introduction

Le projet de cet article est de résumer rapidement (et donc fatalement de manière sommaire) l'évolution collective d'un programme de recherche théorique, technologique et sociétal mené depuis plus d'une dizaine d'années dans notre laboratoire sur l'analyse, la modélisation et l'instrumentation des situations de coopération. Ce résumé n'a bien évidemment pas valeur d'exemplarité, mais dans sa singularité propre il constitue une contribution à la réflexion générale sur l'évolution des approches (arrière-plans théoriques, méthodes, modèles) mobilisées pour l'étude des activités professionnelles, notamment dans leur dimension collective.

Le problème de ce type de production en forme de bilan est souvent de tomber dans le piège (ou de céder à la tentation) de ré-ordonner les événements et de reconstruire l'histoire de manière à la rendre plus présentable au regard des canons académiques de conduite des programmes scientifiques. Nous ne chercherons pas à éviter cette difficulté et adopterons une chronologie qui bien qu'un peu artificielle¹ retrace de manière fidèle les différentes étapes par lesquelles nous sommes passés.

2. Etape 1 □ la coopération homme-machine et ses limites

2.1. L'ingénierie cognitive

Durant cette première période centrée sur la conception de systèmes d'assistance coopératifs, l'approche mise en oeuvre est fortement influencée par l'ingénierie cognitive telle que développée par Woods et ses collègues (D. Woods & Roth, 1988; D. D. Woods, 1991; D. D. Woods, Potter, Johannesen, & Holloway, 1991; D. D. Woods, Roth, & Bennett, 1987), avec néanmoins la persistance d'une spécificité «culturelle» à savoir le recours systématique à l'analyse de l'activité emblématique de l'ergonomie francophone, là où les modes empiriques d'appréhension du réel utilisés par Woods conservent une part d'ambiguïté entre la volonté affichée de s'intéresser à ce que font réellement les opérateurs et le recours quasi systématique à des modèles d'analyse de tâches en termes d'analyse des buts et des contraintes structurelles inhérentes à un domaine et d'identification de l'espace problème dans la lignée des travaux de Newell et Simon.

Quel est le rôle de cette analyse de l'activité □ Elle est essentiellement de deux ordres □

- un rôle de familiarisation avec le domaine professionnel considéré et avec les pratiques en situation des opérateurs □

¹ Il existe notamment un recouvrement temporel non négligeable entre les étapes 1 et 2.

- l'identification de «goulôts d'étranglement» (*bottlenecks*) dans le système, c-a-d les limitations cognitives dans le couplage opérateur-outil (vu comme un «système cognitif joint») et contraintes de l'environnement.

2.2. Statut de la modélisation

Le rôle des modèles produits au cours de cette étape est essentiellement celui d'un instrument de visibilité et d'intelligibilité. Il s'agit de décrire l'activité des opérateurs confrontés à une tâche complexe et de résumer les dimensions pertinentes de cette activité dans les termes de l'approche de référence (l'ingénierie cognitive). Dans un premier temps un modèle de la tâche réelle (i.e. les objectifs assignés par l'organisation tels qu'ils sont reformulés par l'opérateur) est construit sur la base d'entretiens menés avec les opérateurs (ici des régulateurs de la navigation aérienne). Dans un second temps l'activité de l'opérateur est analysée en situation et décrite en termes de mécanismes cognitifs de haut niveau² (diagnostic, planification, résolution de problèmes,...). Pour chaque étape ou dimension de l'activité on pointe les goulots d'étranglement en termes de limitations du couplage capacités cognitives de l'opérateur et exigences de gestion des situations, définies par l'interaction entre tâches à réaliser et incertitudes liées au caractère complexe de l'environnement (Pavard & Salembier, 1991). La relation avec la conception est ici directe l'identification des limitations doit permettre la spécification d'outils cognitifs et de fonctionnalités permettant de les dépasser (Salembier, 1994).

2.3. Les limites de la démarche

Une première limitation de cette approche tient à sa centration sur l'activité individuelle³. Les aspects collectifs ne sont au mieux envisagés que par le biais des communications verbales interpersonnelles. Une seconde limitation vient du fait que l'accent est mis sur le couplage entre les capacités de traitement de l'information de l'opérateur et son environnement via la médiation d'un système de représentation symbolique⁴ (panneau de contrôle, écran d'ordinateur,...). Les propriétés fonctionnelles des artefacts (déterminés notamment par leur caractéristiques physiques) ne sont pas considérées. On a donc au final l'image réductrice d'une cognition individuelle, désincarnée, où l'opérateur est vu essentiellement sous l'angle d'un système qui alloue des ressources cognitives limitées pour répondre aux exigences de la tâche et aux fluctuations de l'environnement.

3. Etape 2 – mécanismes informels de la coopération homme-homme

Bien que d'une certaine efficacité pragmatique en termes d'aide à la conception⁵, l'approche mise en œuvre et l'arrière plan théorique associé utilisés dans la première étape conduisent à négliger certaines dimensions de l'activité qui revêtent pourtant une importance fondamentale tant du point théorique que conceptuel. L'étape 2 s'applique à tenter de corriger ces insuffisances et à réintégrer ces dimensions. Les travaux menés au cours de cette étape ont été essentiellement conduits dans deux domaines – la régulation des appels d'urgence (centre SAMU) et le contrôle du trafic aérien.

² Par opposition aux mécanismes dit de «bas niveau», encapsulés et inaccessibles à la conscience du sujet pensant et agissant.

³ Sur ce point comme sur d'autres la position de Woods a considérablement évolué

⁴ Ceci s'explique en partie par le type de situation majoritairement investiguée (salles de contrôle dans le nucléaire, cockpit d'avion)

⁵ Le travail réalisé a contribué à la spécification et à la conception d'une maquette d'un système d'assistance à la régulation dont une version stabilisée a été mise en service au centre de régulation centralisé de Bruxelles (Salembier, Planchon, Manchon, & Pavard, 1993)

3.1. La centration sur le collectif

A la différence de l'étape précédente, l'accent est mis ici sur la dimension collective de l'activité et plus spécifiquement sur les aspects coopératifs⁶.

Cette orientation répond ici à une double motivation□

- la volonté de traiter un aspect repoussé consciemment jusqu'alors dans l'arrière-plan d'activités individuelles s'entrecroisant et se coordonnant parfois□
- la volonté de répondre à de nouveaux problèmes de conception posés en termes de supports à la coopération entre opérateurs.

L'analyse de l'activité joue toujours ici rôle structurant majeur avec une importance particulière donnée aux aspects non directement liés à la tâche mais à l'obtention des conditions efficaces de sa réalisation (anticipation des actions des autres agents, constitution d'une représentation contextuelle partagée,...).

3.2. La décentration d'avec le domaine de tâches

Poursuivant en cela une tradition bien établie en ergonomie francophone, et à la différence des modèles que l'on qualifiera de «classiques□, souvent d'inspiration cognitiviste (Zachary & Robertson, 1990), le travail mené au cours de l'étape 2 met l'accent sur l'élucidation des mécanismes de régulation du collectif, et plus particulièrement des mécanismes informels de cette régulation. L'objectif est ici de tenter de mettre en lumière la part de l'activité collective non directement liée ou exprimable dans les termes du domaine de tâche, méconnue la plupart du temps de l'organisation, souvent non conscientisée spontanément par les opérateurs eux-mêmes, mais qui est néanmoins indispensable à la réalisation satisfaisante de cette tâche. Ceci nécessite la mise en œuvre d'un modèle d'analyse qui n'exprime plus uniquement l'activité dans les termes du domaine de tâches (même dans le cas où celui-ci est exprimé par des catégories descriptives d'un certain niveau d'abstraction□diagnostic, supervision,...). Cette orientation est proche dans l'esprit des études menées dans le courant du CSCW (*Computer Supported Cooperative Work*) notamment par la sociologie d'inspiration ethnométhodologique, qui partage sur l'étude des situations de travail certaines positions avec l'ergonomie de langue française (voir par exemple les travaux menés par Heath et ses collègues, (Heath & Luff, 2000).

3.3. Le rôle des artefacts

Bien que prenant en compte le rôle des supports d'informations et leurs éventuelles limitations, en termes de facilité d'accès et de traitement notamment, les analyses menées lors de la première étape restaient assez superficielles quant aux propriétés physiques des objets utilisés par les opérateurs. Ainsi les objets étaient essentiellement considérés dans leur dimension informationnelle (artefacts cognitifs) et non dans leur dimension manipulable pour reprendre la distinction bien connue introduite par Norman (Norman, 1991). Cette ignorance de la constitutivité matérielle des activités cognitives, notamment collectives, faisait inconsciemment écho aux positions du programme cognitiviste⁷.

Cette nouvelle importance donnée aux propriétés physiques des objets matériels et à leur relation avec la cognition individuelle et collective ne faisait en fait que rejoindre des préoccupations déjà manifestées en ergonomie (Pavard, 1985□Pavard & al, 1987), en anthropologie cognitive (Hutchins, 1995) et en sociologie des techniques (Latour, 1992).

⁶ Pour une définition précise de ce que nous entendons par le terme de coopération, voir (Salembier & Zouinar, 2000)□(Zouinar, 2000)

⁷ Qui outre les aspects matériels a ignoré sciemment pendant longtemps les dimensions corporelles, émotionnelles et culturelles de la cognition.

Dans le contexte de l'étude des situations professionnelles, un des exemples quasi paradigmatiques de ce processus d'externalisation de la cognition dans des objets matériels porte sur l'analyse de l'utilisation du «strip» (bande de papier utilisés par les contrôleurs du trafic aérien pour gérer les vols dont ils ont la responsabilité)⁸. Outre leur statut de support à l'activité individuelle (mémorisation, planification), les strips en tant que représentations publiques jouent un rôle important dans la coordination entre contrôleurs, en permettant notamment la reconnaissance d'intention et l'actualisation d'un contexte partagé nécessaire à la réalisation collective de la tâche (Benchekroun, Pavard, & Salembier, 1994; Bressolle, 1993; Salembier, 2002).

3.4. Statut de la modélisation

3.4.1. Construction des modèles

Une des grandes différences entre notre mode d'appréhension des activités collectives et celui de l'ethnométhodologie, outre l'arrière-plan conceptuel mobilisé (Anderson, 1997), tient à la place donnée à la modélisation. Alors que la construction de modèles n'est pas jugée nécessaire voire utile par les ethnométhodologues, la modélisation dans cette étape de nos travaux passe du simple statut à vocation descriptive à celui de support à la simulation. Les modèles développés sont donc exprimés avec un système de notation formel basé sur la logique des prédicats, sans que l'on ne considère qu'il y ait nécessaire isomorphisme entre activités cognitives et procédures logiques d'expression de certains aspects de ces activités. Ce type de modèle constitue ce que Theureau a dénommé à la suite d'une analyse de Timmermans inspirée de Spinoza un modèle de type *empirique synthétique*. La finalité est ici de disposer d'un modèle centré sur un aspect particulier de l'activité collective (dans le cas qui nous occupe il s'agit des processus de constitution et d'actualisation du contexte partagé), qui repose sur une base empirique étoffée et qui d'un point de vue opérationnel puisse permettre d'orienter des décisions de transformation des situations de travail. Cette orientation nécessite que le modèle soit suffisamment indépendant des spécificités d'une situation, ce qui conduit donc à opérer des simplifications (éventail des événements susceptibles de se produire dans la situation donnée) qui limitent le domaine de validité a priori du modèle. Ainsi dans le cas de la modélisation du contexte partagé, on s'exprime en termes d'informations *potentiellement* partagées dans la mesure où la réalité effective de ce partage est largement indécidable.

Le postulat sous-jacent à cet intérêt particulier pour les processus de constitution du contexte partagé tient à son incidence sur la gestion collective de la fiabilité du système sociotechnique par la mise en place de différents mécanismes de régulation basés notamment sur les modes informels de gestion du collectif. Cet aspect de notre travail a donné lieu à la production d'un modèle basé sur la notion de «Boucles de régulation» (Bressolle, Decortis, Pavard, & Salembier, 1996; Rognin, Salembier, & Zouinar, 2000). Il s'agit à nouveau ici comme dans l'étape 1 d'une version stylisée de la réalité qui néglige volontairement certains éléments afin d'en faire ressortir d'autres⁹. Dans le même temps on pourrait dire que l'accent mis ici sur la relation entre activité coopérative (contexte partagé, contrôle mutuel des actions, régulation collective de la charge de travail,...) et phénomène émergent au niveau du système lui-même (fiabilité du contrôle aérien) instaure une transition avec la phase 3.

3.4.2. De la modélisation à la simulation

Pourquoi recourir à une étape de simulation? Il convient tout d'abord de préciser ce que nous entendons par ce terme. A la différence des entreprises de simulation dite cognitive

⁸ Ces strips sont à la fois des objets informationnels et des objets manipulables. Les contrôleurs peuvent notamment intervenir sur l'organisation spatiale des strips sur le tableau de strips afin de représenter des informations dynamiques telles que la position d'un vol, ou la survenue d'un conflit.

⁹ Cette orientation sélective propre à toute entreprise de modélisation a conduit certains auteurs à définir la construction de modèles comme l'expression d'une «stratégie de la négligence» (Nouvel, 2002).

engagées durant les années 80 avec un certain optimisme non dénué de naïveté et issues de la branche technologique du programme cognitiviste, i.e. l'intelligence artificielle, l'objectif n'est pas ici de reproduire le fonctionnement du système cognitif ni de prédire de façon précise les sorties de ce système. Nos simulations sont prédictives mais dans un sens beaucoup plus faible que celui utilisé classiquement, en tant que moyen d'administration de la preuve par exemple. L'idée est ici plutôt de jouer sur un ensemble de variables exogènes d'environnement pour explorer un changement de situation (introduction d'un nouvel outil, modifications des formes d'organisation du collectif,...) et évaluer son impact sur des variables endogènes jugées pertinentes (par exemple une appréciation quantitative du contexte partagé) (Salembier, Kahn, Zorola-Villarreal, & Zouinar, 1997; Zorola-Villarreal, Pavard, & Bastide, 1995). La simulation fonctionne comme un moyen pour «ouvrir l'espace de conception» et nourrir l'interaction (discussion et négociation) entre les acteurs engagés dans la conception autour de différents choix possibles.

3.5. Les limites

Une des limites de cette approche outre une relative lourdeur de mise en œuvre lorsqu'on souhaite aller au bout de la démarche tient à la nature déterministe de la simulation : la modélisation et la simulation qui la réalise physiquement fonctionnent comme des machines à calculer symboliques qui permettent d'aller beaucoup plus vite et de manière plus fiable que lors d'une simulation papier-crayon, mais en contrepartie on est rarement «surpris» par les sorties obtenues. L'intérêt est donc de ce point de vue relatif, bien que ceci puisse être retourné en argument positif dans la mesure où le sens et la signification des résultats restent intelligibles. Par ailleurs le gain doit également être évalué en intégrant les effets dus à l'exigence supplémentaire de rigueur dans la description et la notation du modèle, et ceux inhérents à la fonction argumentative de la simulation.

4. Etape 3 : activités complexes et modèles de la complexité

4.1. Autonomie du modèle

Le passage à l'étape 3 constitue du point de vue de la modélisation et surtout de la simulation un changement de paradigme drastique dans la mesure où il nous fait passer des outils logiques classiquement utilisés en sciences cognitives aux théories de la complexité et aux systèmes dynamiques non linéaires (Pavard, 2002). Cette nouvelle orientation s'inscrit dans le contexte plus général du développement des outils de simulation en sciences sociales qui fournissent des moyens de prédiction et surtout de simulation dynamique permettant d'anticiper l'émergence de faits sociaux par les comportement individuels d'agents¹⁰. La raison qui motive ce choix tient à la reconnaissance et à l'acceptation du fait que la dynamique des processus qui supportent la coopération et qui sont à l'œuvre dans les situations professionnelles sont la plupart du temps impossibles à prévoir car non déterministes du fait notamment de leur caractère distribué et de leur sensibilité aux variations environnementales (Pavard & Dugdale, 2000).

D'un point de vue global la démarche mise en œuvre s'éloigne peu de celle utilisée durant la seconde étape (Dugdale & Pavard, 2000). On retrouve sous une forme élargie les phases classiques déjà décrites antérieurement : analyse de la tâche, analyse de l'activité, simulation papier-crayon, simulation partielle de la situation, mise en situation recréée, simulation informatique.

Par contre du point de vue de la modélisation, on rentre dans une toute autre dimension de par les capacités d'autonomie qui sont allouées aux agents. On se trouve dans le cas d'une

¹⁰ Voir par exemple les travaux menés dans le cadre du réseau européen COSI (<http://www.irit.fr/COSI>)

modélisation «dramatique»¹¹ dans la mesure où «On met sur scène les protagonistes» dotés ici d'un répertoire comportemental limité mais qui permet l'émergence de propriétés globales par le biais des interactions entre ces agents.

Le choix qui est fait ici est de limiter la finesse de la modélisation de l'activité individuelle et de privilégier la modélisation des processus collectifs. Mais cette option, qui repose sur le constat d'imprédictibilité des comportements des agents, n'a de sens que si l'on se dote par ailleurs d'outils de simulation permettant d'explorer les évolutions possibles du système sociotechnique en réponse à différentes conditions de départ initiales (organisation de l'espace particulière, modalités d'organisation du travail dans le collectif, introduction de nouveaux outils coopératifs,...). Ceci passe par le recours à des outils de simulation particuliers qui se distinguent de ceux utilisés dans l'étape 2.

4.2. Statut de la simulation

Les outils utilisés sont essentiellement des environnements de simulation multi-agents qui permettent de recréer la dynamique du fonctionnement du collectif en réponse à des modifications de l'environnement externe (survenue d'événements particuliers) ou interne (modification de la structure du collectif d'agents). Chaque agent est décrit par un ensemble d'attributs qui vont définir un éventail de comportements possibles ces attributs sont soit prédéfinis, soit générés dynamiquement au cours de la simulation.

A la différence du type de simulation menée dans l'étape 2, on peut théoriquement s'attendre ici à obtenir des résultats non attendus, voire même «Surprenants». Le problème est de savoir quel niveau de confiance on peut leur accorder et comment les utiliser. Va-t-on les considérer comme des éléments heuristiques de réflexion, comme des outils d'aide à l'interprétation a posteriori de phénomènes particuliers, ou comme des outils permettant de s'approcher de la prédiction de ce qui risque de se passer? Dans la manière dont est envisagée le statut de la simulation dans les travaux de notre équipe, il s'agit essentiellement d'évaluer le rôle de certains mécanismes sur un phénomène plus global (Dugdale & Pavard, 2000). La validation ne se fait pas sur les comportements locaux des agents mais sur la capacité du modèle à faire émerger des propriétés globales du système intéressantes qui pourront contribuer à enrichir le processus de conception.

4.3. Limites

Une première limite de ce type de modélisation tient à la fascination que peut exercer la possibilité de multiplier de façon relativement commode des simulations qui finalement n'apportent pas de véritable enseignement soit parce que les résultats produits sont difficilement interprétables, soit parce qu'ils sont triviaux (i.e. anticipables sans recours à une simulation), soit parce que le répertoire d'actions des agents est si limité que le modèle n'a plus grand chose à voir avec la réalité (ce qui pose un problème dans la mesure où une modification légère dans le comportement d'un agent peut générer des modifications importantes à l'échelle du système). Le risque est donc de se concentrer essentiellement sur l'émergence de propriétés globales sans pouvoir les articuler avec les comportements locaux des agents le spectre d'un collectivisme méthodologique radical n'est pas loin...

Une seconde limite tient à l'usage même des systèmes multi-agents qui imposent une modélisation souvent élémentaire des propriétés sociales et cognitives des acteurs humains qu'ils sont sensés représenter. La dimension «située» des acteurs, leurs connaissances culturelles, leur intelligence contextuelle,... sont des dimensions difficiles sinon impossibles à représenter de façon synthétique dans les agents distribués (Dugdale & Pavard, 2002). C'est pour dépasser ces contraintes que nous nous sommes récemment orientés vers des paradigmes de simulation permettant de bénéficier à la fois des propriétés d'émergence propres aux systèmes distribués et des propriétés de mise en situation grâce à l'usage de la réalité virtuelle

¹¹ La distinction entre modélisation dramatique et modélisation mathématique a été introduite par B. Saint-Sernin

(Darcy & col., 2003). Dans cette approche, les agents humains évoluent et interagissent entre eux et avec leur environnement dans un univers virtuel. Ils sont ainsi «*in situation*» et peuvent prendre des décisions en se basant aussi bien sur les artefacts de leur environnement que sur leurs acquis cognitifs et culturels.

5. Conclusion

S'il fallait se risquer à un commentaire de synthèse pour une telle rétrospective, peut-être pourrait-on dire que le moteur de cette recherche a été un souci permanent de trouver les cadres conceptuels adaptés à la problématique de l'analyse et de la conception d'environnements socio-techniques complexes. Étant issus de la culture analytique classique, qui a fortement structuré le champ de la recherche en ergonomie et en science cognitive, il nous a fallu y échapper en se dotant d'outils de simulation nous permettant de passer d'une approche structurelle et descriptive (post hoc) à une approche productive capable de modéliser des comportements collectifs et en particulier leurs propriétés d'émergence. Nous avons pour cela largement fait appel à des champs disciplinaires connexes (théorie des actes de langage, théorie des systèmes complexes, éthologie, théorie des systèmes multi-agents, interactionnisme,...). Le véritable changement paradigmatique est survenu avec l'appropriation du concept d'émergence (ou d'auto-organisation) qui nous a permis de resituer notre recherche dans le cadre d'une épistémologie plus constructiviste tout en gardant la rigueur de la démonstration grâce à l'usage des modèles de production. Restait à traiter le problème du caractère situé des interactions humaines (qu'elles soient cognitives ou culturelles). Nous abordons aujourd'hui ce challenge avec nos collègues ethnométhodologues et spécialistes de la réalité virtuelle. Nous pensons que ce nouvel axe de recherche nous amènera à mieux comprendre et penser le travail de demain.

6. Bibliographie

- Anderson, J. R. (1997). Work, ethnography, and system design. In A. Kent & J. G. Williams (Eds.), *The encyclopedia of Microcomputing* (Vol. 20, pp. 159-183). New York: Marcel Dekker.
- Bencheikroun, T. H., Pavard, B., & Salembier, P. (1994). Design of cooperative systems in complex dynamic environments. In J. M. Hoc, C. Cacciabue & E. Hollnagell (Eds.), *Expertise and Technology - Cognition & Human-Computer Cooperation* (pp. 167-182). New Jersey: LEA.
- Bressolle, M. C. (1993). *Contribution à l'étude de la perception de l'intention et de la coopération. Le cas des contrôleurs de la navigation aérienne dans le survol national*. Unpublished Mémoire de DEA, Université de Toulouse le Mirail, Toulouse.
- Bressolle, M. C., Decortis, F., Pavard, B., & Salembier, P. (1996). Traitement Cognitif et Organisationnel des micro-incidents dans le domaine du contrôle du trafic aérien: Analyse des boucles de régulation formelles et informelles. In G. D. Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et Conception*. Toulouse: Octares Editions.
- Darcy, S., Dugdale, J., Mehdi E. J., Pallamain N., Pavard B. (2003). *Virtual reality, story building, story telling*. submitted.
- Dugdale, J., & Pavard, B. (2000). The Application of a Cognitive Engineering Methodology to Agent-based Simulation in the Social Sciences. In *Proceedings of Agent-Based Simulation Workshop 2000*. May 2-3, Passau, Germany.
- Dugdale J., Pavard B. (2002) From representational to contextual intelligence. In « Computational and Mathematical Organization Theory Conference ». Pittsburgh, USA
- Heath, C., & Luff, P. (2000). *Technology in action*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the wild*: Bradford Books-MIT Press.
- Latour, B. (1992). Where are the missing masses, Sociology of a few mundane artefacts. In W. Bijker & J. Law (Eds.), *Shaping Technology-Building societies. Studies in sociotechnical change* (pp. 225-259). Cambridge MA: MIT Press.
- Norman, D. A. (1991). Cognitive artefacts. In J. M. Carroll (Ed.), *Designing interaction psychology at the human-computer interface*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Nouvel, P. (2002). Modèles et métaphores. In P. Nouvel (Ed.), *Enquête sur le concept de modèle* (pp. 189-202). Paris: PUF.
- Pavard B. (1985). Editeurs de texte et stratégies de rédaction de dépêche : analyse des contraintes pragmatiques. *Intellectica*, 1,1,37-68.
- Pavard B., Marmaras & Xanthoudakis H. (1987) Les changements de représentation induits par les systèmes informatiques. *Revue de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S.*, Vol.8, n°1.
- Pavard, B. (2002). Complexity paradigm as a framework for the study of cooperative systems. In P. Salembier & T. H. Benchekroun (Eds.), *Cooperation and complexity*. Paris-Londres: RSTI-RIA, Vol. 16 n° 4-5, Hermes-Lavoisier.
- Pavard, B., & Dugdale, J. (2000). The contribution of complexity theory to the study of sociotechnical systems. *New England Complex Systems Institute electronic journal*, <http://www.interjournal.org>.
- Pavard, B., & Salembier, P. (1991). *L'aide à la régulation du trafic aérien : analyse de l'activité et assistance coopérative à la décision* (No. Rapport convention NEB/CENA). Paris: CNAM.
- Rognin, L., Salembier, P., & Zouinar, M. (2000). Cooperation, reliability of socio-technical systems and allocation of function. *International Journal of Human-computer Studies*, 52(2), 357-379.
- Salembier, P. (1994). Assistance coopérative aux activités complexes : l'exemple de la régulation du trafic aérien. In B. Pavard (Ed.), *Systèmes coopératifs : de la modélisation à la conception*. Toulouse: Octares.
- Salembier, P. (2002). Cadres conceptuels et méthodologiques pour l'analyse, la modélisation et l'instrumentation des activités coopératives situées. *Systèmes d'information et Management (SIM)*, n°2, Vol. 7, 37-56.
- Salembier, P., Kahn, J., Zorola-Villarreal, R., & Zouinar, M. (1997). *Assessing of methods : Cognitive modeling* (No. WP6, RHEA.): CEC, DG VII.
- Salembier, P., Planchon, P., Manchon, S., & Pavard, B. (1993). Use of advanced technologies in Air Traffic Management domain. In G. Rzevski, J. Pastor & R. A. Adey (Eds.), *Applications of Artificial Intelligence in Engineering VIII* (pp. Computational Mechanics Publications-Elsevier): London.
- Salembier, P., & Zouinar, M. (2000). *Analysing and modelling mutual awareness in cooperative work settings*, from <http://www-sv.cict.fr/cotcos/pjs/>
- Woods, D., & Roth, D. D. (1988). Cognitive systems engineering. In M. Helander (Ed.), *Handbook of Human Computer Interaction*. North Holland: Elsevier Science Publishers B.V.
- Woods, D. D. (1991). The cognitive engineering of problem representations. In G. R. S. Weir & J. L. Alty (Eds.), *Human-computer Interaction and complex systems*. Londres: Academic Press.
- Woods, D. D., Potter, S. S., Johannesen, L., & Holloway, M. (1991). *Human interaction with intelligent systems : Volume I - Trends, problems, new directions* (CSEL Report No. 1991-001). Columbus OH: Ohio State University.
- Woods, D. D., Roth, E. M., & Bennett, K. (1987). Explorations in joint human-machine cognitive systems. In W. Zachary & S. Robertson (Eds.), *Cognition, computing and cooperation*. Norwood NJ: Ablex.
- Zachary, W., & Robertson, S. P. (1990). Introduction to cognition, computation, and cooperation. In S. P. Robertson, W. Zachary & J. B. Black (Eds.), *Cognition, computing, and cooperation*. Norwood, New Jersey: Ablex Pub. Corp.
- Zorola-Villarreal, R., Pavard, B., & Bastide, R. (1995). *SIM'COOP : A tool to analyse and predict cooperation in complex environments*. Paper presented at the Fifth International Conference on Human-Machine Interaction & Artificial Intelligence in Aerospace, September, Toulouse, France.
- Zouinar, M. (2000). *Analyse et modélisation des processus de construction et d'actualisation du contexte partagé*. Unpublished Thèse de Doctorat, CNAM, Paris.